

## ヒトの全身持久性を測定する簡易テストの開発： 自覚的運動強度によって速度を調節する歩/走テストの確立

著者	中垣内 真樹
著者別名	Nakagaichi Masaki
内容記述	筑波大学博士（体育科学）学位論文・平成11年7月23日授与（乙第1556号）
発行年	1999
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2241/6531">http://hdl.handle.net/2241/6531</a>

## 第4章 研究課題2

### RPEによって速度を調節する 最大下12分間トレッドミル歩行テストの提案

#### 第1節 緒言

安全性を優先する立場から、最大下運動時の生理学的反応（HRの反応）と仕事量を利用して $\dot{V}O_{2\max}$ を推定する種々の間接テストが従来から考案されている（Åstrand and Ryhming, 1954; Fox, 1973; Siconolfi et al., 1982; 信田ら, 1991）。しかし、最大下運動中のHRや推定HR<sub>max</sub>を利用する間接テストの場合、HRと $\dot{V}O_2$ の直線関係の傾きや推定HR<sub>max</sub>に個人差の小さいことが必要条件となる。しかし、「220－年齢」で予測される推定HR<sub>max</sub>は、高齢者の場合はとくに±20拍/分以上の誤差を示すことが少なくない（田中, 1990）。また、HRを増加させる作用をもつ抗狭心症剤（亜硝酸剤）、反対にHRを低下させるベータ遮断剤や交感神経作用剤、さらには抗不整脈剤などを服用している患者では、HRを利用した推定は非常に困難となる。最大下運動時の生理学的反応から推定するいずれの間接テストにもこのような問題点が内在していることから、とくに有疾病者や中高年者を対象とした場合には妥当性に優れるとはいいがたい。

研究課題2では有疾病者を含む中高年男女を対象として、“安全性”、“簡便性”、“非観血性”、“経済性”、などの諸条件を満たす理想的な全身持久性の簡易テストを提案する。本章で提案する12分間トレッドミル歩行テストは、RPEの13“ややきつい”前後の運動強度でATが出現する（Demello et al., 1987; Seip et al., 1991）ことに着目し、AT水準の個人差を最大

下の歩行距離で表現することによって、全身持久性を測定しようとするものである。RPEについての長所・短所については、研究課題1で報告した。本章では、これまでの先行研究と研究課題1の成果を基にRPEによって速度を調節する歩行テストを提案し、その妥当性および再現性について検討する。

## 第2節 方法

### 1) 対象者

対象者は、中高年男性29名（35～72歳）および女性38名（35～72歳）であり、このなかには男性17名、女性31名の有疾病者が含まれた。ここでいう有疾病者とは、茨城県取手市内の東取手病院に通院し、理学的所見、医学的諸検査結果から心疾患（男性10名、女性9名）、高血圧（男性4名、女性9名）、糖尿（男性3名、女性7名）、高脂血（男性0名、女性6名）と診断された者である。これらの者は院内監視型の運動プログラムに参加し、運動負荷テストには十分慣れていた。対象者一人ひとりに本研究の目的および検査内容を説明し、研究参加への承諾を得た。なお、すべてのデータは東取手病院にて収集した。対象者の身体的特徴については表9に示した。

### 2) 全身持久性の妥当基準（ $\dot{V}O_{2peak}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ ）の直接測定

$\dot{V}O_{2peak}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ は、1分ごとに速度あるいは斜度を高めるトレッドミル歩行による多段階漸増負荷法にて直接測定することとし、全身持久性の妥当基準に位置づけた。測定方法の詳細は付録1に示した。

### 3) RPEによって速度を調節する12分間トレッドミル歩行テスト

全身持久性の簡易テストとして提案した12分間トレッドミル歩行テストは、自由ペース歩行であるが、Borg（1973）によるRPEの11“楽である”，13“ややきつい”および“個人が健康の維持・増進に理想とを感じる”（Optimal）で歩行させた。実際の測定にあたっては、トレッドミルの斜度を5%一定とし、60 m/min（3.6 km/h）での2分間ウォームアップ歩行後、残り10分間の速

度を個人の意志に任せて設定（増減）した（付録3）。全身持久性は、ウォームアップ歩行を含む総歩行距離によって評価した。使用したトレッドミルエルゴメータは、ミズノ社製Exer Track（Aerobic Exerciser 8800）であった。なお、3種の歩行テストはランダム順で実施した。テストの再現性を検討するため、すべての対象者からランダムに30名（男女15名ずつ）を選択し、1週間の期間をあけて同一強度でのテストを実施した。運動強度については3種類から対象者に任意に選択させた。さらにテストの運動強度を客観的な生理学的指標から検討するために男性のべ34名（RPE11: n = 9, RPE13: n = 15, Optimal: n = 10）、女性のべ37名（RPE11: n = 12, RPE13: n = 15, Optimal: n = 10）について歩行中の $\dot{V}O_2$ を測定した。

12分間トレッドミル歩行テストのプロトコールを作成するにあたって、以下の条件を考慮した。（1）運動強度については、HR以外の簡便で有用性の高い指標を用い、ACSM（1995）が推奨する運動強度の範囲に収まること、運動の継続意欲が失われないこととし、BorgによるRPEのスケールで11～13の強度に設定した。（2）運動種目については、誰にでもできる基本動作であり、全身的な運動であること、さらに安全性を考慮し、心電図がモニタリングできるものとし、トレッドミル歩行を採用した。（3）運動時間については、定常運動の場合、3～6分で生理学的反応が一定するとの報告（Fairshter et al., 1983）を参考に、測定をひとつのトレーニングとして捉えるとともに測定に時間がかからないことを考慮し、主運動を10分に設定した。（4）そのほか、トレッドミル歩行においてスピードが速くなりすぎないことや歩きやすさを考慮し、トレッドミルエルゴメータの傾斜を5%に設定した。

## 4) 統計解析

$\dot{V}O_{2peak}$ や $\dot{V}O_{2AT}$ と12分間トレッドミル歩行テストにおける総歩行距離との相関関係はピアソンの積率相関係数から、3種の歩行テストによって得た歩行距離の平均値の差異は一元配置の分散分析 (repeated measures ANOVA design) から検討した。平均値間に有意差が認められた場合、多重比較検定 (Scheffeの方法) によって2群間の比較をおこなった。12分間トレッドミル歩行テスト中の生理学的反応 ( $\dot{V}O_2$ ) については、7分目 (主運動の中間) と12分目の $\dot{V}O_2$ を対応あるt-testを用いて $\dot{V}O_{2AT}$ と比較した。なお、統計的有意水準は、すべての検定において5%に設定した。

## 第3節 結果

全身持久性の妥当基準と12分間トレッドミル歩行テストの測定結果は、表9に示した。12分間トレッドミル歩行テストの総歩行距離について、いずれの群もRPE11の歩行距離はRPE13およびOptimalでの歩行距離に比べて有意に短く、RPE13とOptimalでの歩行距離の間には有意差が認められなかった。

表10と表11は、12分間トレッドミル歩行テストの歩行距離を独立変数、 $\dot{V}O_{2peak}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ を従属変数とした場合の回帰分析の結果と相関係数を示した。一般健常男性の $\dot{V}O_{2peak}$ と歩行距離との関係を除いては、統計的に有意な相関関係が認められた。なお、一般健常女性のデータは少なかった（ $n=7$ ）ため分析しなかった。歩行距離から $\dot{V}O_{2peak}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ を推定する際の推定の標準誤差（standard error of estimation: SEE）は、 $\dot{V}O_{2peak}$ で3.28 ml/kg/min～7.05 ml/kg/min、 $\dot{V}O_{2AT}$ で1.47 ml/kg/min～3.55 ml/kg/minであった。男女ともSEEは、大きくても20%SEEで、ほとんどが15%SEE以内におさまっていた。

Table 9 Physical and physiological characteristics of subjects

	All n = 29	Men Patients n = 17	Healthy men n = 12	All n = 38	Women Patients n = 31	Healthy women n = 7
Age (yr)	54.1 ± 9.6	57.0 ± 9.6	50.0 ± 8.5	52.3 ± 8.3	52.9 ± 8.9	49.7 ± 4.2
Height (cm)	165.3 ± 5.0	163.6 ± 3.7	167.7 ± 5.7	152.9 ± 4.8	152.8 ± 5.1	153.4 ± 3.2
Weight (kg)	63.9 ± 8.2	63.1 ± 7.0	65.0 ± 9.8	56.4 ± 8.1	56.5 ± 8.6	56.1 ± 5.8
VO <sub>2peak</sub> (ml/kg/min)	34.0 ± 8.8	28.8 ± 6.9	41.4 ± 5.3	26.4 ± 5.3	25.8 ± 5.3	29.0 ± 4.9
VO <sub>2AT</sub> (ml/kg/min)	21.0 ± 6.1	17.4 ± 3.7	26.1 ± 5.1	17.0 ± 3.0	16.7 ± 3.0	18.2 ± 2.6
12-min walk test						
RPE11 (km)	0.93 ± 0.11*	0.88 ± 0.08*	1.00 ± 0.10*	0.87 ± 0.08*	0.85 ± 0.07*	0.95 ± 0.10*
RPE13 (km)	1.05 ± 0.12	0.99 ± 0.09	1.13 ± 0.10	0.96 ± 0.11	0.95 ± 0.09	1.04 ± 0.14
Optimal (km)	1.02 ± 0.10	0.96 ± 0.06	1.11 ± 0.09	0.96 ± 0.09	0.94 ± 0.08	1.02 ± 0.13

\* Significantly different from the mean 12min walk distance at RPE13



Table 10 Linear regression and correlation coefficients between 12-min walk distance and aerobic capacity for men

Sample	Independent variable Y (ml/kg/min)	Dependent variable X (km)	Slope	Y intercept	Correlation coefficient r	Standard Error of Estimation SEE (ml/kg/min)	% SEE
1. All subjects n = 29	VO <sub>2peak</sub>	RPE11	51.55	-13.97	0.62*	7.05	20.7
2. Patients n = 17			42.37	-8.57	0.52*	6.08	21.1
3. Healthy men n = 12			9.63	31.79	0.18	5.43	13.1
1	VO <sub>2peak</sub>	RPE13	62.26	-31.11	0.84*	4.96	14.6
2			65.59	-35.86	0.85*	3.70	12.8
3			26.63	11.29	0.52	4.73	11.4
1	VO <sub>2peak</sub>	Optimal	62.79	-30.16	0.74*	6.09	17.9
2			61.73	-30.71	0.58*	5.80	20.1
3			23.66	15.28	0.42	5.02	12.1
1	VO <sub>2AT</sub>	RPE11	46.86	-22.64	0.82*	3.55	16.9
2			29.86	-8.95	0.68*	2.77	15.9
3			40.29	-14.29	0.77*	3.47	13.3
1	VO <sub>2AT</sub>	RPE13	46.37	-27.52	0.90*	2.70	12.9
2			37.84	-19.92	0.92*	1.47	8.4
3			38.52	-17.51	0.76*	3.48	13.3
1	VO <sub>2AT</sub>	Optimal	53.29	-33.50	0.91*	2.63	12.5
2			41.60	-22.72	0.73*	2.60	14.9
3			49.01	-28.08	0.88*	2.55	9.8

Table 11 Linear regression and correlation coefficients between 12-min walk distance and aerobic capacity for women

		Independent variable		Dependent variable		Slope	Y intercept	Correlation coefficient	Standard Error of Estimation	
		Y (ml/kg/min)	X (km)					r	SEE: (ml/kg/min)	%SEE
1. All subjects n = 38		$\dot{V}O_{2peak}$	RPE:11			31.68	-1.13	0.50*	4.68	17.7
2. Patients n = 31						40.51	-8.68	0.54*	4.53	17.6
1		$\dot{V}O_{2peak}$	RPE:13			29.53	-2.07	0.60*	4.33	16.4
2						40.57	-12.57	0.71*	3.82	14.8
1		$\dot{V}O_{2peak}$	Optimal			35.07	-7.10	0.61*	4.30	16.3
2						55.78	-26.68	0.80*	3.28	12.7
1		$\dot{V}O_{2AT}$	RPE:11			22.10	-2.21	0.62*	2.35	13.8
2						23.13	-2.96	0.55*	2.58	15.4
1		$\dot{V}O_{2AT}$	RPE:13			19.49	-1.78	0.71*	2.13	12.5
2						21.38	-3.49	0.56*	2.33	14.0
1		$\dot{V}O_{2AT}$	Optimal			23.13	-5.09	0.72*	2.10	12.4
2						28.68	-10.26	0.72*	2.14	12.8

表12には、テストの再現性を検討するために選択した対象者の身体的特徴と測定結果を示した。テストの再現性については、いずれの強度も1回目と2回目の歩行距離に有意差がなく、RPE11で $r = 0.90$ 、RPE13で $r = 0.92$ 、Optimalで $r = 0.95$ の信頼性係数が得られた（図8）。また、それぞれの回帰式（1回目と2回目の歩行距離の回帰式）の回帰係数が1、切片が0と有意な差はなかった（図8）。

Table 12 Physical and physiological characteristics of test-retest reliability group

		All subjects $n = 30; \bar{x} = 15, \bar{s} = 15$	RPE11 $n = 7; \bar{x} = 4, \bar{s} = 3$	RPE13 $n = 12; \bar{x} = 6, \bar{s} = 6$	Optimal $n = 11; \bar{x} = 5, \bar{s} = 6$
Age	(yr)	$54.2 \pm 9.0$	$50.3 \pm 7.3$	$54.1 \pm 10.4$	$56.8 \pm 8.2$
Height	(cm)	$159.0 \pm 7.6$	$159.3 \pm 11.5$	$159.9 \pm 7.3$	$157.8 \pm 5.3$
Weight	(kg)	$61.0 \pm 8.5$	$59.3 \pm 5.7$	$61.3 \pm 11.0$	$61.6 \pm 7.2$
$\dot{V}O_{2peak}$	(ml/kg/min)	$29.5 \pm 8.5$	$30.6 \pm 8.8$	$31.5 \pm 10.0$	$26.6 \pm 6.0$
$\dot{V}O_{2AT}$	(ml/kg/min)	$18.9 \pm 5.7$	$18.2 \pm 4.3$	$21.4 \pm 7.1$	$18.2 \pm 4.3$
12-min walk test	(km)	$0.96 \pm 0.12$	$0.88 \pm 0.06$	$1.03 \pm 0.15$	$0.93 \pm 0.09$
12-min walk test (2nd)	(km)	$0.97 \pm 0.12$ ns	$0.88 \pm 0.06$ ns	$1.05 \pm 0.13$ ns	$0.94 \pm 0.09$ ns

ns: not significantly different from 1st 12-min walk test

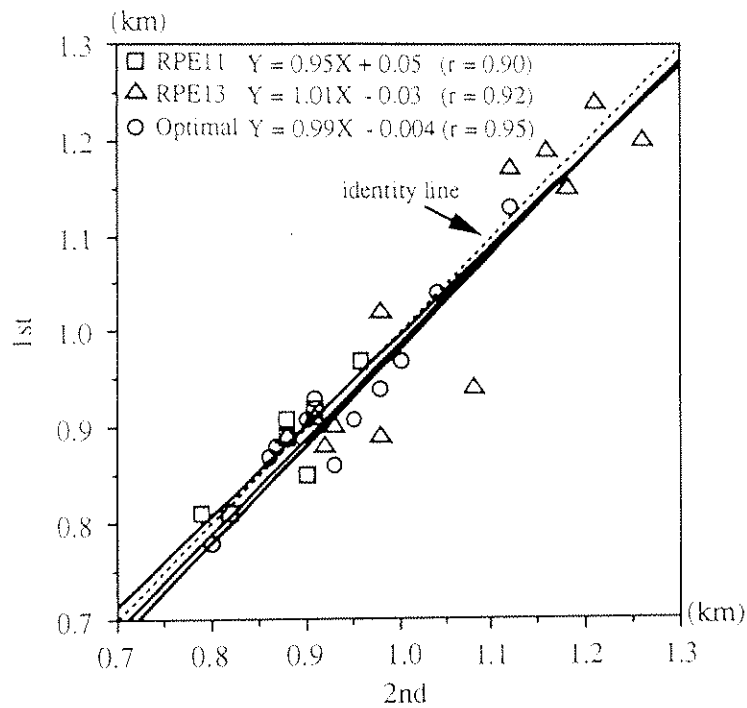


Figure 8 Test-retest reliability of 12-min submaximal walk test

12分間トレッドミル歩行テスト中の $\dot{V}O_2$ を測定した対象者の身体的特徴と測定結果を表13に示した。図9には、12分間トレッドミル歩行テスト中の7分目と12分目の $\dot{V}O_2$ と $\dot{V}O_{2AT}$ との比較を示した。3種のテストの $\dot{V}O_2$ と $\dot{V}O_{2AT}$ の間には有意な差が認められず、本テストの運動強度が概ねAT水準だったといえる。

Table 13 Physical and physiological characteristics of  $\dot{V}O_2$  measurement group

	Men			Women		
	RPE11 n = 9; p = 5, h = 4	RPE13 n = 15; p = 8, h = 7	Optimal n = 10; p = 6, h = 4	RPE11 n = 12; p = 9, h = 3	RPE13 n = 15; p = 11, h = 4	Optimal n = 10; p = 7, h = 3
Age (yr)	59.8 ± 8.5	57.9 ± 9.4	59.1 ± 8.8	52.4 ± 12.4	53.8 ± 12.4	52.4 ± 12.0
Height (cm)	164.3 ± 4.5	165.3 ± 5.0	165.5 ± 5.4	153.7 ± 4.0	156.2 ± 6.5	155.0 ± 4.3
Weight (kg)	62.8 ± 5.3	66.4 ± 8.4	62.8 ± 5.3	55.7 ± 6.7	56.8 ± 9.2	55.5 ± 7.6
$\dot{V}O_{2peak}$ (ml/kg/min)	33.9 ± 7.9	33.0 ± 7.9	33.8 ± 8.0	28.9 ± 3.8	28.0 ± 4.7	28.4 ± 5.5
$\dot{V}O_{2AT}$ (ml/kg/min)	19.6 ± 6.2	19.7 ± 4.6	19.8 ± 5.1	19.3 ± 2.6	18.2 ± 3.6	18.7 ± 3.4
12-min walk test (km)	0.91 ± 0.09	0.98 ± 0.10	0.96 ± 0.10	0.91 ± 0.08	0.97 ± 0.08	0.98 ± 0.10

p: Patients, h: Healthy subjects

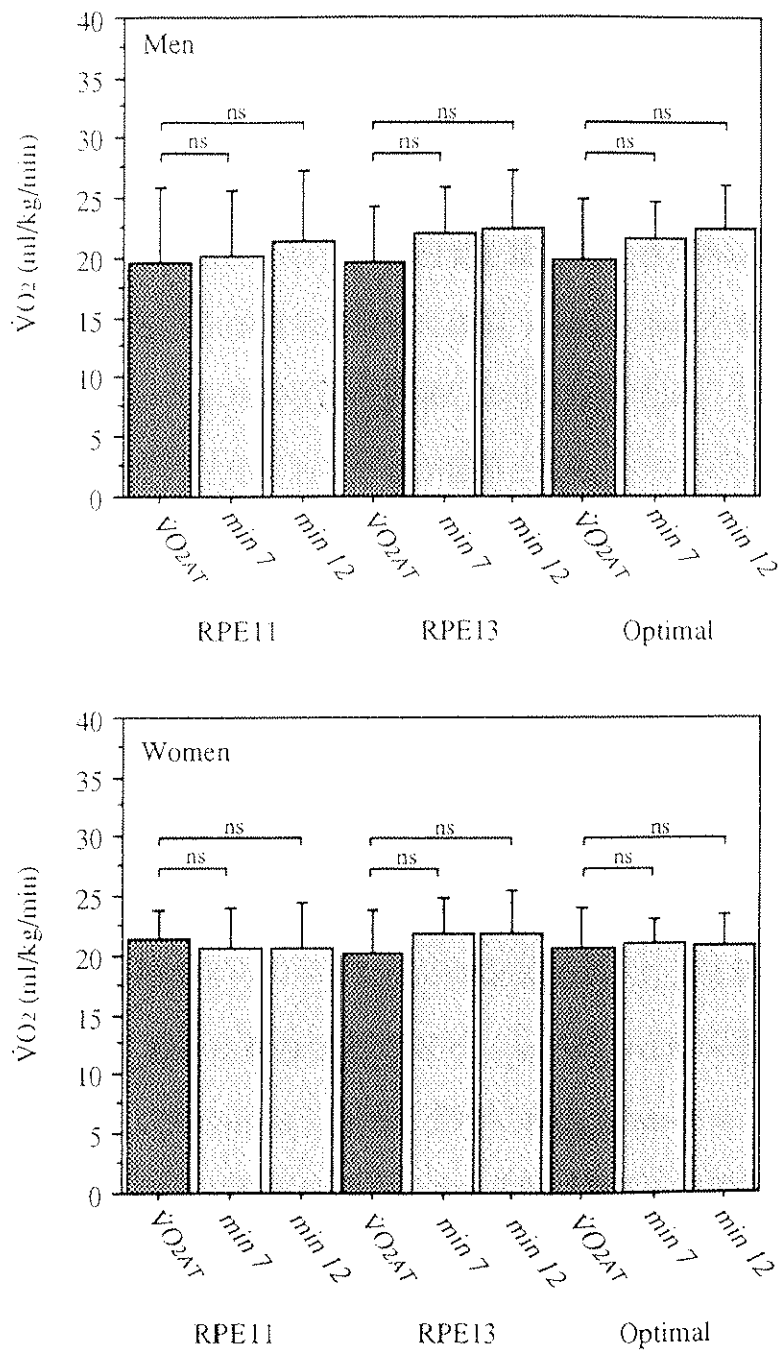


Figure 9 Comparison among mean  $\dot{V}O_2$  values observed at 7 minute and 12minute in 12-min walk test and  $\dot{V}O_{2AT}$  for men (upper figure), and for women (lower figure).  
ns: not significantly different

## 第4節 考察

全身持久性の簡易テストとして個人の自由ペース歩行による12分間トレッドミル歩行テストを提案した。本テストは、HRや $\dot{V}O_2$ の測定を必要とせず最大下歩行による12分間の総歩行距離から全身持久性を評価するものであり、最もユニークな点はRPEによって歩行速度を設定する点である。本テストは最大下の運動中における自覚的な情報に規定（制御）された形で得られる歩行距離のみを利用して全身持久性を評価しようとするため、とくにテストの妥当性や信頼性がどの程度であるのかが疑問となる。

有疾病者を含めた中高年男女について直接測定した $\dot{V}O_{2peak}$ と3種の強度での歩行距離との間に $r = 0.50 \sim 0.84$ 、 $\dot{V}O_{2AT}$ と歩行距離との間に $r = 0.62 \sim 0.90$ の有意な相関関係が認められた。また、有疾病者のみのデータから、 $\dot{V}O_{2peak}$ と3種の強度での歩行距離との間に男性で $r = 0.52 \sim 0.85$ 、女性で $r = 0.54 \sim 0.80$ 、 $\dot{V}O_{2AT}$ と歩行距離との間に男性で $r = 0.68 \sim 0.92$ 、女性で $r = 0.55 \sim 0.72$ と有意な相関が得られた。これまでに作成されてきた重回帰方程式による $\dot{V}O_{2max}$ の推定法やフィールドパフォーマンステストによる測定法の妥当性は $r = 0.40 \sim 0.90$ であると報告されており（Åstrand and Ryhming, 1954; Cooper, 1968; Fox, 1973; Glassford et al., 1965; 形本, 1980; Kline et al., 1987; Siconolfi et al., 1982），本テストの妥当性はこれまでの間接テストと同等と推察される。また、歩行距離に基づく $\dot{V}O_{2peak}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ の%SEEは、14.6%～20.7%および12.4%～16.9%でいずれも15%前後であった。これまで若年成人を対象にした場合、 $\dot{V}O_{2max}$ を推定するときには±10%以上のSEEは避けられないと考えられており（Hermiston and Faulkner, 1971; Mastropaolo, 1970），一般には $\dot{V}O_{2max}$ を推定する際のSEEが種々の要因によって15～20%になる場合も少な

くない。このようなことを考慮すると、本テストによるSEEの大きさは必ずしも小さいとはいえないが、避けられない誤差であるのかもしれない。

3種のテストを比較するとRPE13での歩行テストの相関係数が最も高く（ $\dot{V}O_{2peak}$ : 男性 $r = 0.84$ , 女性 $r = 0.60$ ,  $\dot{V}O_{2AT}$ : 男性 $r = 0.90$ , 女性 $r = 0.71$ ）, SEEが小さかった（ $\dot{V}O_{2peak}$ : 男性14.6%, 女性16.4%,  $\dot{V}O_{2AT}$ : 男性12.9%, 女性12.5%）。つまり、3種のなかではRPE13での歩行テストの推定精度が最も高かった。RPE11は、強度が低すぎて運動強度を把握しにくいこと、また、Optimalは各個人での認識に差が生じることなどが原因でRPE13と比較すると推定精度が若干低下すると推察される。

本章のデータは、有疾病者と一般健常者のデータから構成されている。男性について有疾病者のみのデータと一般健常者のみのデータを比較したところ、 $\dot{V}O_{2AT}$ との相関係数に大差はなかった。しかし、一般健常者の $\dot{V}O_{2peak}$ との相関係数は有疾病者の相関係数より低かった。一般健常者の相関係数が低かった理由として、 $\dot{V}O_{2peak}$ と $\dot{V}O_{2AT}$ の相関係数が $r = 0.40$ と低かったことがあげられる。これは歩行による多段階漸増負荷テストで得られた $\dot{V}O_{2peak}$ の測定的な問題であると考えられる。本来は、一般健常者と有疾病者を分類し、それぞれのグループ内でテストの妥当性を検討していくことが安定した知見を得るために必要であろう。しかし、実際の現場、例えば企業や自治体で体力測定をおこなう場合では、対象者のなかに潜在的に疾病を有するものが少なくないことや有疾病者と一般健常者をグルーピングすることが困難であることから、全体を包括し、それに適用できる簡易テストを開発することが望まれる。本テストの場合、これまでの間接テストと異なり、有疾病者が対象者に含まれてもテストの妥当性が低下していなかった。つまり、有疾病者と



一般健常者を区別せずに全身持久性を妥当に測定できるといえよう。

本テストでは、RPEすなわち個人の自覚的な情報を運動強度の設定に用いている。これまでに体力を評価する指標としてRPEの有用性が報告されているが（Morgan and Borg, 1976; Hage, 1981; Noble, 1982），なかでもMorgan and Borg（1976）は、最大運動が不可能な心疾患患者の $\dot{V}O_{2max}$ の推定には、HRよりもRPEに頼る方が正確であることを報告している。全身持久性の高い者が低い者に比べて、同一負荷に対してより低いRPEを示すことは、容易に予想されることである。つまり、同一RPEでは全身持久性の高い者の仕事量が体力の低い者よりも明らかに大きくなることを意味している。研究課題2においても、RPE11, RPE13, Optimal, それぞれにおける歩行距離と $\dot{V}O_{2peak}$ および $\dot{V}O_{2AT}$ との間に有意な相関が認められたこと、RPE11での歩行距離がRPE13あるいはOptimalでの歩行距離に比べて有意に短かったこと、さらにテストの再現性が高かったことから、RPEが全身持久性を評価する有用な指標となりえるというこれまでの見解を支持する結果が得られた。

本テストでは、これまでの知見からAT水準での運動を目標として運動強度をRPE11～13に設定した。12分間トレッドミル歩行テスト中の $\dot{V}O_2$ と $\dot{V}O_{2AT}$ との比較をおこなったところ、3種のテストともAT水準と有意な差は認められなかった。3種の12分間トレッドミル歩行テストの運動強度は目標通り概ねAT水準に設定されていたことが確認された。このように、われわれの提案する12分間トレッドミル歩行テストの運動強度は概ねAT水準であり、これは運動強度がAT水準を超えた場合に起こる代謝性アシドーシスによる呼吸器系への過度の負担（田中, 1990），1回拍出量および心機能の低下（Tanaka et al., 1986b; Concu and Marcellow, 1993），心筋虚血の増加（Coyle et al., 1983）

などを軽減できることから、最大努力を必要とするパフォーマンステストに比べて理論上安全性が高いといえよう。さらに、この12分間トレッドミル歩行テストは運動強度がAT水準であることから、全身持久性を維持・向上するための運動、つまり、健康の維持・増進を目標とする運動としても捉えられる。

## 第5節 まとめ

研究課題2で提案した12分間トレッドミル歩行テストの妥当性および再現性は良好であった。本テストは体力水準の低い有疾病者や中高年者に適用できる妥当なテストといえよう。また、運動強度が概ねAT水準であることから、最大努力を必要とするパフォーマンステストに比べて理論上安全性が高いと考えられる。さらに、トレッドミルエルゴメータを必要とする点では実用性に劣るが、フィールドテストと異なり必要に応じて運動中に心電図のモニタリングや個々の表情の観察が容易にでき、しかも人との競争が避けられるなど、とくに中高年者や有疾病者を対象とする場合に有用である。